

## ONLINE МОНИТОРИНГ РУД НА СЕРЕБРО В ТОО «КОРПОРАЦИЯ КАЗАХМЫС»

Исатаева Ф.М.<sup>1</sup>, Кан А.Н.<sup>2</sup>, Сериков А.Е.<sup>2</sup>, Ефименко С.А.<sup>2</sup><sup>1</sup>Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Казахстан<sup>2</sup>ТОО «Корпорация Казахмыс», г. Караганда, Казахстан, [serg\\_yef@mail.ru](mailto:serg_yef@mail.ru)

На горных предприятиях жезказганской производственной площадки Горно–производственного комплекса (ГПК) ТОО «Корпорация Казахмыс» в практике геологического обслуживания геологоразведочных и добычных работ широко используются ядерно–геофизические технологии опробования и анализа руд (ЯГФТОиАР). Базовый метод во всех ЯГФТОиАР – рентгенофлуоресцентный. Аппаратура – носимые и лабораторные энергодисперсионные рентгенофлуоресцентные (EDXRF) анализаторы казахстанского (ТОО «Аспап Гео») производства.

ТОО «Корпорацией Казахмыс» заявлена цель: достижение максимально возможной прибыли от горного передела. На фоне устойчивого тренда на снижение содержаний профилирующего (медь) компонента в рудах основных месторождений, находящихся в разработке, дальнейшее наращивание прибыльности горного передела возможно только за счет управляемого ведения добычи сопутствующих компонентов и в первую очередь – серебра. Цель достижима, но требует EDXRF аппаратуры нового поколения.

Задачей исследований данной работы является обеспечение максимальной информативности геологоразведочных работ и добычных работ в части содержаний всех основных (медь, свинец, цинк, кремний) и сопутствующих (серебро, кадмий) балансовых компонентов за счет использования EDXRF аппаратуры нового поколения.

Отметим, что средние содержания серебра в рудах месторождений медистых песчаников Жезказган и

Жаман–Айбат – это 15 ppm (на остальных разрабатываемых месторождениях – гораздо ниже). На месторождении Жезказган в распределении серебра установлены следующие зональности: вертикальная (наибольшее количество серебра сосредоточено в залежах горизонтов 3÷6 средней подсытки), по типам руд (наиболее сереброносными являются медные руды, а свинцовые и цинковые руды серебра практически не содержат) и минералогическая (из сульфидов меди наиболее сереброносным является халькозин, затем борнит и далее халькопирит). Поэтому использование корреляционных связей между серебром и медью в РФА исключено. Для целей управления добычей серебра его содержания надо определять от 1+ ppm. Это запредельный уровень для EDXRF анализаторов вообще и носимых, в особенности. Вывод: обеспечение достоверного определения содержаний серебра рентгенофлуоресцентным методом представляет собой очень сложную методическую и аппаратную задачу. Задача усложнена необходимостью опробования горных выработок вертикальными сечениями высотой до 7 м на месторождениях Жезказган и Жаман–Айбат с горизонтальным залеганием рудных тел.

Серебро необходимо определять: а) по стенкам забоев, в отбитой горной массе, на складах товарной руды, в кернах разведочных и буровом шламе эксплуатационно–разведочных скважин, в буровом шламе шпуров, буриемых в почву и кровлю горных выработок; б) в порошковых пробах руд (это направление вынесено за рамки этой статьи).



Рис. 1. EDXRF спектрометр РПП–12Т: А – Шахтный, Б – Керновый, В – Опция «РФА проб»

Таблица 1. Результаты рентгенофлуоресцентного опробования керна скважины на серебро (ppm) с помощью спектрометра РПП–12Т

№№ инт.	х/а	Режимы опробования керна									
		Непрерывный		10 точек/м				5 точек/м			
				10 с		5 с		10 с		5 с	
		Осн.	Конт.	Осн.	Конт.	Осн.	Конт.	Осн.	Конт.	Осн.	Конт.
41	3.7	4.2	4.2	3.2	3.7	2.6	3.5	3.0	3.3	3.3	1.9
42	4.7	5.4	4.3	3.5	4.2	4.2	3.6	2.9	3.0	3.3	5.1
40	5.2	5.5	4.9	5.6	4.5	3.8	5.1	3.7	7.5	2.3	5.2
61	8.5	9.2	8.2	7.8	7.0	6.6	7.0	5.6	10.1	7.0	5.7
47	15.4	16.2	15.5	13.9	16.4	12.6	13.5	10.6	17.1	14.0	11.2
55	16.1	17.4	15.8	16.5	17.1	18.0	15.9	20.7	12.3	15.4	20.6
56	20.2	17.7	23.4	15.7	19.0	23.0	21.4	20.1	11.3	28.3	17.7
48	37.0	45.3	43.1	40.4	45.0	41.6	38.9	39.2	43.9	38.4	42.4
50	46.1	44.1	44.5	44.6	45.4	41.3	43.5	43.6	45.6	40.2	42.4
52	17.2	17.1	17.9	16.6	16.0	17.3	18.1	18.3	17.4	16.2	17.9
<b>Сред.</b>	<b>17.41</b>	<b>18.21</b>	<b>18.18</b>	<b>16.78</b>	<b>17.83</b>	<b>17.09</b>	<b>17.05</b>	<b>16.78</b>	<b>17.16</b>	<b>16.85</b>	<b>17.01</b>
<b>σ. %</b>		<b>4.60</b>	<b>4.42</b>	<b>3.62</b>	<b>2.41</b>	<b>1.85</b>	<b>2.10</b>	<b>3.64</b>	<b>1.44</b>	3.23	2.30

В исследованиях по РФА первой группы объектов задействован носимый EDXRF спектрометр РПП–12Т. Он выпускается в двух вариантах: шахтном (рис. 1А) и карьерном/керновом (рис. 1Б). РПП–12Т имеет опцию «РФА проб» (рис. 1В). РПП–12Т комплектуется набором из 2–3 метровых штанг (высота опробования забоя в этом случае составит 4–5 м). В качестве блока регистрации и обработки используется серийный смартфон с операционной системой Android и ударопрочным корпусом (защита класса IP67). У конкурентов используется карманный персональный компьютер, возможности которого намного ниже. Реализована беспроводная (bluetooth) система передачи информации от датчика к блоку обработки, что существенно повышает безопасность процесса опробования.

РПП–12Т оснащен высокоскоростным кремниевым дрейфовым детектором (SDD) площадью 25 мм<sup>2</sup> (термоохлаждение, энергетическое разрешение – 140 эВ) и малогабаритным рентгеновским излучателем 50 кВ,

4 Вт. Площадь сбора аналитической информации – до 4 см<sup>2</sup>. Число определяемых элементов 34 (Cu, Zn, Pb, Ag, Cd, As, Ba, Fe, Mo, Mn, Ti, V, Cr, Co, K, Ca, Ni, Ga, Br, Rb, Sr, Zr, Y, Nb, Sn, Sb, Bi, Se, In, Pd, Te, W, Th, U).

Для выяснения возможности решения задачи online мониторинга содержаний серебра с помощью спектрометра РПП–12Т были проведены исследования на керне разведочных скважин (месторождение Жезказган) по следующей программе: а) измерение метровых интервалов керна в ящиках в непрерывном режиме, когда датчик перемещается вдоль интервала керна при экспозиции измерений 20 сек/м; б) измерение метровых интервалов керна с шагом наблюдений 10 см (10 точек/м) и 20 см (5 точек/м) с экспозицией измерений 10 с и 5 с для каждого шага наблюдений; в) контрольное опробование метровых интервалов керна для режимов измерений, указанных в пунктах а) и б). Контрольные измерения (пункт б) проводились с небольшой сдвижкой. Результаты исследований приведены в таблице 1.

### Вертикаль 51

N	Содержания по точкам						Содерж. средние по 5 точкам					
	Cu,%	Ag,г/т	Zn,%	Pb,%	Cd,г/т	Fe,%	Cu,%	Ag,г/т	Zn,%	Pb,%	Cd,г/т	Fe,%
1	0,13	2,3	0,51	0,00	38,7	1,50	0,141	2,0	0,493	0,000	37,6	1,520
2	0,14	2,3	0,49	0,00	38,1	1,52						
3	0,15	1,0	0,49	0,00	38,2	1,59						
4	0,14	2,4	0,48	0,00	38,2	1,52						
5	0,14	2,1	0,50	0,00	35,0	1,47						
Среднее процентное содержание по вертикали:							0,14	2,0	0,49	0,00	37,6	1,52

Рис. 2. Отчет о результатах РФА эталонного штуфа № 51

Таблица 2. Результаты РФА порошковых проб на спектрометре РПП–12Т

Номер пробы	Серебро, ppm		Медь, %		Железо, %	
	Хим.	РПП–12Т	Хим.	РПП–12Т	Хим.	РПП–12Т
1	6.0	6.6	0.65	0.61	2.57	2.49
2	7.7	7.2	0.88	0.84	1.83	1.77
3	11.6	11.2	1.43	1.40	2.61	2.57
4	16.2	16.6	0.84	0.78	2.30	2.26
5	25.8	24.3	3.65	3.55	2.36	2.31
6	37.0	36.7	1.33	1.32	2.24	2.20
7	52.5	51.4	7.68	7.70	2.28	2.38
8	108.2	115.1	7.52	7.65	1.89	1.96
9	197.3	191.8	3.95	3.91	1.71	1.69
<b>Средние</b>	<b>51.37</b>	<b>51.21</b>	<b>3.103</b>	<b>3.082</b>	<b>2.199</b>	<b>2.180</b>
<b>σ, %</b>		0.30		0.67		0.84

Данные таблицы 1 указывают на то, что сходимость результатов средних содержаний серебра по метровым интервалам керна по рентгенофлуоресцентному и химическому анализу полностью соответствует требованиям геологических служб рудников ГПК ТОО «Корпорация Казахмыс». Результаты исследований на забаласовых медных пересечениях (не вошли в таблицу 1), показали, что спектрометр РПП–12Т уверенно решает задачу online мониторинга содержаний серебра, начиная от содержаний 1+ ppm.

В качестве дополнительного подтверждения того, что спектрометр РПП–12Т обеспечивает уверенный online мониторинг низких содержаний серебра, на рис. 2 показана распечатка отчета о результатах РФА эталонного штуфа № 51 (аттестованные содержания: Cu = 0.15%, Zn = 0.48%, Pb = 0%, Ag = 2.0 ppm, Cd = 37.0 ppm). На штуфе в разных точках выполнялось пять измерений по 10с каждое.

На рис. 1В показана опция «РФА проб». Были проведены исследования точности РФА порошковых проб на медь и серебро. Порошковая проба насыпалась в кювету диаметром 25мм, уплотнялась стеклянной пластиной и устанавливалась в специальную насадку. В эту насадку вставлялся спектрометр РПП–12Т. Экспозиция измерений составила 10 с. Результаты исследований приведены в таблице 2. Их также следует признать очень хорошими.

По результатам проведенных исследований было выдано положительное заключение и ГПК ТОО «Корпорация Казахмыс» приобрела и внедрила в горных подразделениях ПО «Жезказганцветмет» шесть спектрометров РПП–12Т. Задача online мониторинга содержаний серебра в рудах решена.